

В.Н.Виноградов, Я.Д.Муравьев
Институт вулканологии ДВНЦАН СССР

КЛИМАТ И СОСТОЯНИЕ ЛЕДНИКОВ КАМЧАТКИ В СОВРЕМЕННУЮ ЭПОХУ

Выявлены тенденции развития современного оледенения полуострова до 1996 г.

Колебания ледников Камчатки могут быть вызваны как климатическими причинами, так и влиянием современного вулканизма. Вулканическая деятельность оказывает на оледенение неоднозначное воздействие, которое выражается в подвижках, сокращении или консервации ледников, что рассмотрено в [2]. Цель настоящей работы - совместный анализ изменений климата и режима ледников Камчатки в XX столетии и долгосрочный прогноз тенденции развития оледенения Камчатки на ближайшие десятилетия.

Положение Камчатки на восточной окраине Евразии и ее меридиональное простираение определяют значительные термобарические контрасты и активную циклоническую деятельность над полуостровом [8]. Пониженное атмосферное давление, преобладающее в течение холодного периода в охотском и алеутском районах, формируется преимущественно циклонами, возникающими в южных районах Дальнего Востока. На южные циклоны приходится 70% от их числа над Беринговым морем, и 52% - над Охотским [7]. Крупнейшие скопления лед-



Рис.1. Основные макропотоки циркуляции атмосферы II и распределение ледниковых систем I на Камчатке. 1 - западная группа циклонов; 2 - юго-западная охотоморская группа циклонов; 3 - южная группа циклонов; 4 - юго-восточная группа циклонов
Fig.1. The main macroflows of atmospheric circulation II and distribution of glacier systems I over Kamchatka. 1 - western group of cyclones; 2 - south-western "Okhotskoye Sea" group of cyclones; 3 - southern group of cyclones; 4 - south-eastern group of cyclones

довых сумм осадков. При активной циклонической деятельности над полуостровом наблюдаются значительные отрицательные аномалии летней температуры воздуха. При процессах циркуляции атмосферы формы M_2 также отмечаются отрицательные аномалии давления и значительные положительные аномалии осадков в холодный период года. Для теплого времени года типичны положительные аномалии температуры воздуха.

Для современного оледенения Камчатки благоприятно развитие формы циркуляции атмосферы M_1 в течение всего года, формы M_2 в холодный период, комбинированной формы $3 + M_1$ в теплый период или комбинированной формы $M_1 + M_2$ - в течение всего года.

Рассмотрим два основных показателя, от изменения которых зависит состояние оледенения: количество осадков за балансовый год и средние летние температуры воздуха. Для этого использованы длинные ряды пяти метеорологических станций, расположенных в разных районах полуострова. На рис.2 приведены кривые многолетнего хода осадков и температуры, сглаженные по 11 и 25 годам.

Как видно из рис.2а, имеется явно выраженная тенденция к росту годовых осадков в последние десятилетия на всех станциях, но общий ход сглаженных кривых за весь период наблюдений с 1900 по 1980 г. несколько различается. Так, период минимальной увлажненности смещается с середины 30-х годов на севере Камчатки (станция Усть-Воямполка) к рубежу 1940-1950 гг. на юге - станция Петропавловск-Камчатский. Амплитуда колебаний годовых сумм осадков также растет с севера на юг.

Средняя летняя температура изменяется меньше, чем осадки, поэтому ее значения на разных станциях мало отличаются. С севера на юг несколько увеличивается размах изменений показателя, а кроме того, начиная с первой половины 40-х годов на южных станциях видна тенденция к понижению температуры (рис.2 б, станции IV и V). Следует также отметить, что усиление солнечной активности во второй половине 50-х годов, связываемое с совпадением в это время сверхвекового, векового и 11-летнего солнечных циклов [10], сильнее отразилось на кривых температуры станций I—III, расположенных в северной части полуострова.

ников приурочены к основным направлениям проходящих циклонов (рис.1). В глобальном аспекте этот вопрос рассмотрен А.И.Кренке [9], который показал приуроченность ледников Арктики и прилегающих областей к барическим ложбинам и основным макропотокам циркуляции атмосферы.

Воспользуемся классификацией форм развития атмосферной циркуляции в тихоокеанском секторе северного полушария А.А.Гирса [4] для более подробного рассмотрения климата Камчатки и тенденций его изменения. Все многообразие атмосферных процессов наблюдавшихся за 69 лет, обобщено им в три типа атмосферной циркуляции: зональный 3 и два меридиональных M_1 и M_2 , в которых географическое положение высотных гребней и ложбин противоположно [5].

При преобладании процессов формы 3 над Камчаткой наблюдаются положительные аномалии давления, ведущие к ослаблению межширотного обмена, а усиление интенсивности зональной циркуляции не восполняет возникающий дефицит осадков. Для температуры воздуха в теплый период года характерна положительная аномалия. В случае развития процессов формы M_1 алеутский минимум ослаблен и расчленен на два самостоятельных минимума, один из которых формируется в районе Камчатки, а другой - над восточной частью Тихого океана. В результате наблюдаются отрицательные аномалии давления и положительные аномалии годовых сумм осадков.

При сравнении многолетнего хода осадков и температуры с повторяемостью форм 3, M_2 и M_1 циркуляции атмосферы в холодные периоды года с сентября по май за 1900-1968 гг., показанных на рис.3, становится очевидным следующее. Минимум увлажненности на станциях I-III наблюдается при наименьшей повторяемости процессов формы 3 и наибольшей - процессов формы M_2 . Это связано с тем, что при форме циркуляции M_2 область избытка осадков смещена к югу и при сильном ослаблении зональной циркуляции на севере Камчатки выпадает мало осадков. Кроме того, колебания осадков на станциях Усть-Воямполка, Ключи и Никольское согласуются с изменением повторяемости процессов формы 3. На станциях Петропавловск-Камчатский и Петропавловск, маяк график хода осадков похож на графики повторяемости форм M_1 и M_2 . Сходство обнаруживается также в многолетнем ходе температуры и повторяемости форм циркуляции для станции I-III с аномалиями 3 и станций IV, V с аномалиями M_1 и M_2 . Четко проявляется климатообразующая роль сибирского максимума в северной части полуострова.

Данные о состоянии ледников Камчатки до 1960-х годов малочисленны и порой противоречивы. Наиболее подробные сведения приводит Б.И.Пийп [11] о ледниках Ключевской группы вулканов. Он отмечает, что в 1945-1955 гг. эти ледники преимущественно отступали или находились в стационарном положении, лишь наиболее крупные, например, ледник Эрмауа, или высоко расположенные имели тенденцию к наступанию. К началу 1980-х годов большая часть ледников Ключевской группы вулканов начала расти. В то же время продолжают отступать ледники Кроноцкого полуострова. Так, ледник Корыто с 1960 по 1982 г. отступил на 120-150 м, причем за первую половину этого периода его язык сократился примерно на 50 м [3, 12], а в дальнейшем темпы деградации увеличились. Ледник Гречишкина на севере Срединного хребта за 1964-1979 гг. отступил на 50 м.

Лучше изучены колебания ледника Козельского во второй половине нашего столетия: до начала 1960-х годов он отступал, что усугублялось влиянием извержения Авачинского вулкана в 1945 г. В следующем десятилетии он находился в состоянии, близком к стационарному; в 1971-1976 гг. ледник наступал, а с 1977 г. опять началось его отступление. Как видно из изложенного, данные о колеба-

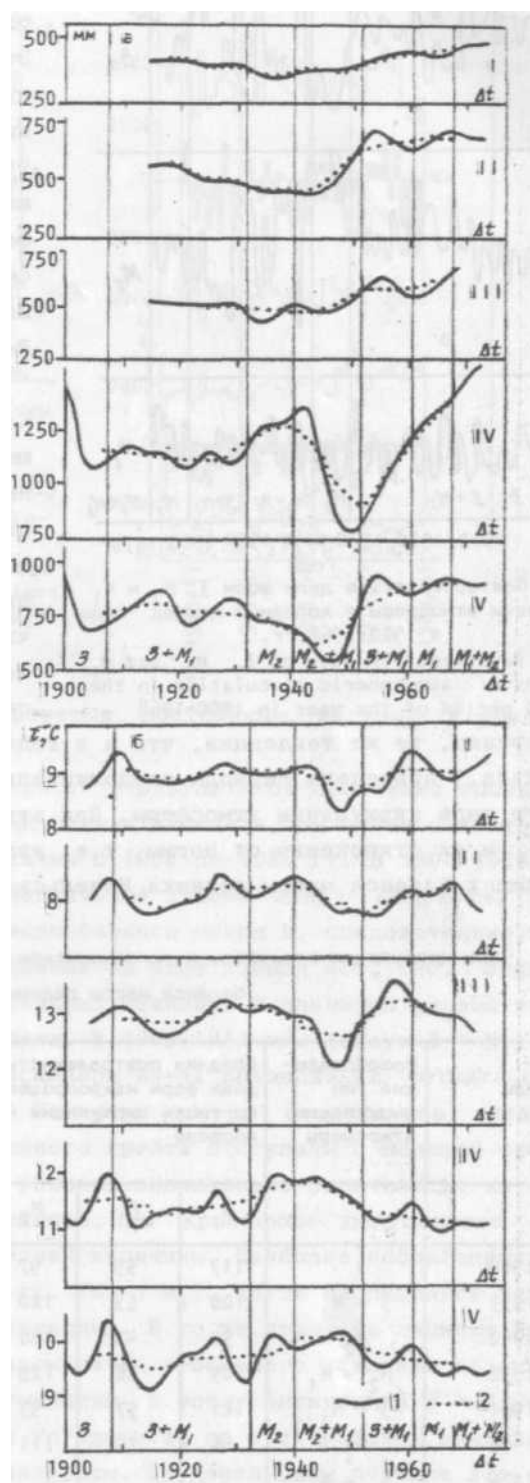
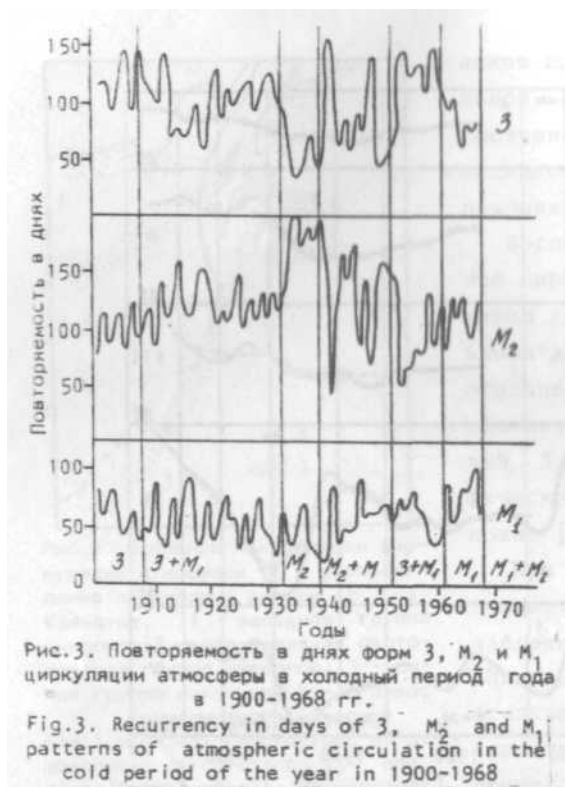


Рис.2. Многолетний ход годовых осадков (а) и средней летней температуры воздуха (б), сглаженный по 11 (1) и 25 (2) годам на станциях: I - Усть-Воямполка, II - Ключи, III - Никольское, IV - Петропавловск-Камчатский, V - Петропавловск, маяк

Fig.2. Perennial changes in the annual precipitation (a) and mean summer temperature of the air (b), smoothed for eleven (1) and twenty five (2) years on the stations: 1 - Ust-Voyampolka, II - Kliuchi, III - Nikolskoye, IV - Petropavlovsk-Kamchatskiy, V - Petropavlovsk, Mayak



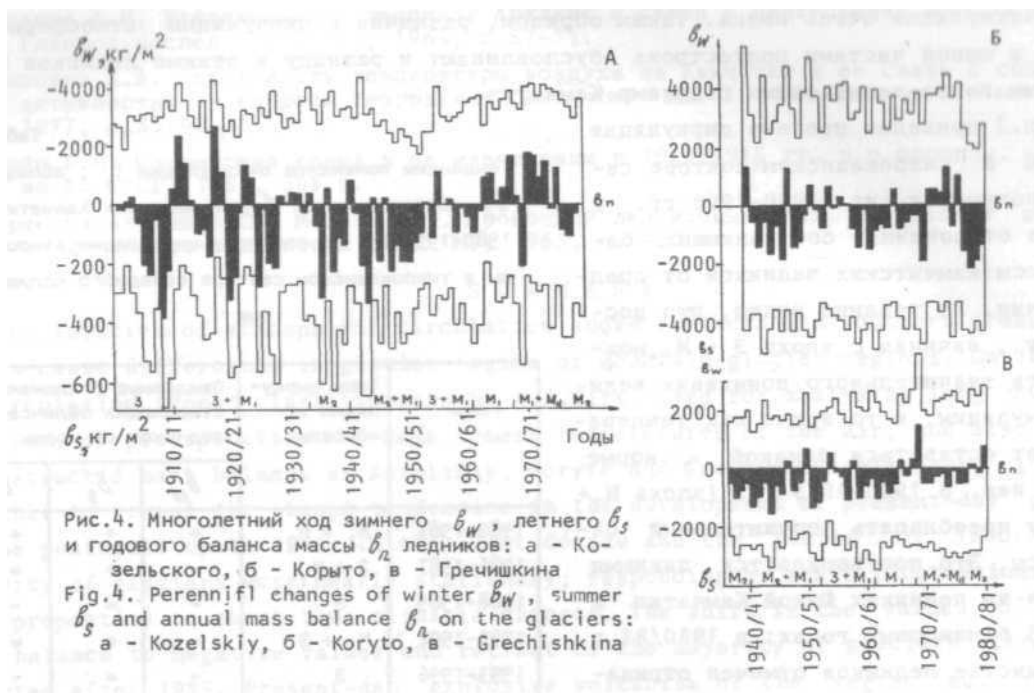
В табл.1 приведены периоды продолжительностью от 7 до 25 лет с господством определенного типа циркуляции атмосферы. Для этих периодов подсчитаны средние значения $\bar{\delta}_M$, $\bar{\delta}_S$, $\bar{\delta}_L$ и их отклонения от нормы, т.е. аномалии, наглядно иллюстрирующие изменения составляющих баланса массы ледника Козельского в зависимости от типа циркуляции атмосферы.

Таблица 1

Типы циркуляции атмосферы в тихоокеанском секторе северного полушария и составляющие баланса массы ледника Козельского на Камчатке

Годы	Преобладающий тип циркуляции атмосферы	Средняя повторяемость в днях форм макропроцессов по типам циркуляции атмосферы			Средние по типам циркуляции атмосферы значения составляющих баланса массы ледника Козельского, кг/м ²			Отклонение от среднего составляющих баланса массы ледника по типам циркуляции, кг/м ²		
		3	M_1	M_2	$\bar{\delta}_M$	$\bar{\delta}_S$	$\bar{\delta}_L$	$\Delta \bar{\delta}_M$	$\Delta \bar{\delta}_S$	$\Delta \bar{\delta}_L$
1900-1908	3	117	59	97	2800	3990	-1020	-400	-160	-560
1909-1933	3 + M_1	100	53	120	3160	3760	-430	-40	+70	+30
1934-1940	M_2	52	42	180	3380	4630	-1080	+180	-800	-620
1941-1952	M_2 + M_1	85	58	129	2820	4240	-1250	-380	-410	-790
1953-1961	3 + M_1	121	57	93	2900	3310	-240	-300	+520	+220
1962-1968	M_1	86	75	111	3450	3180	+440	+250	+650	+900
1969-1976	M_1 + M_2				3780	3310	+640	+580	+520	+1100
1977-1982	M_2				3260	4100	-670	+60	-270	-210
Средние за 1900-1982 гг.		96	56	120	3200	3830	-460			

ры. Судя по знаку аномалий, для роста аккумуляции на леднике благоприятны циркуляционные эпохи M_2 , M_1 и $M_1 + M_2$ для уменьшения величин абляции - 3 + M_1 , M_1 и $M_1 + M_2$. Последние три типа циркуляции обусловили сдвиг баланса массы к положительным значениям. Аналогичные расчеты выполнены для ледников Корято и Гречишкина и дали сходные результаты с приведенными в табл.1. Единственное явное отличие - отрицательные аномалии рассматриваемых элементов в эпохи развития процессов форм циркуляции M_2 на леднике Корято.



Состояние ледника Гречишкина характеризуется постоянным ростом аккумуляции (см.рис.4).

Таким образом, исходя из анализа графиков рис.4 и результатов сравнения типов циркуляции атмосферы с основными характеристиками режима ледников, мы можем оценить состояние оледенения Камчатки и изменения его режима с 1900 по 1980 гг. В 1900-1908 гг. (эпоха 3) ледник Козельский, представляющий ледниковые районы южной Камчатки, имел отрицательные показатели по всем характеристикам баланса массы и, следовательно, быстро отступал. О ледниках Корято и Гречишкина данных за этот период нет, но, судя по данным о температуре на ближайших метеорологических станциях с длинными рядами наблюдений Никольское и Усть-Воямполка, они отступали. В 1909-1933 гг. (эпоха 3 + M₁) темпы отступления ледников сильно замедлились в основном из-за похолодания летних сезо-нов. В эпоху M- (1934-1940 гг.) ледники южной Камчатки быстро сокращались, ледники Кроноцкого полуострова и северной части Срединного хребта отступали с меньшей скоростью. В эту эпоху количество осадков в разных районах значительно отличалось: на ледниках южной Камчатки аккумуляция была выше средней, на Кроноцком полуострове была близка к ней и на севере полуострова ниже средней величины. Наиболее неблагоприятным для Козельского ледника был период 1941-1952 гг. (M₂ + M₁), когда наблюдались устойчивые отрицательные аномалии балансовых составляющих. В то же время на леднике Корято отмечена отрицательная аномалия баланса массы из-за небольшого усиления абляции, а на леднике Гречишкина - из-за уменьшения аккумуляции. В эпоху циркуляции 3 + M₁ (1953-1962 гг.) состояние ледников Камчатки начало улучшаться; во всех районах наметились изменения годового баланса к положительным значениям. На Козельском леднике это обусловлено существенным уменьшением абляции, а на ледниках Корято и Гречишкина аккумуляция и абляция были близки к норме. В следующую эпоху - M₁, (1963-1968 гг.) режим двух последних ледников остался прежним, а на леднике Козельском составляющие баланса массы имели положительные аномалии. Наиболее благоприятные условия сложились в 1969-1976 гг. (эпоха M₁ + M₂), когда во всех ледниковых районах полуострова наблюдались положительные аномалии аккумуляции, абляции и баланса массы ледников. В этот период многие ледники Авачинской и Ключевской групп вулканов наступали или прекратили отступление. И, наконец, за прошедшие с 1977 г. шесть лет эпохи циркуляции атмосферы M₂ наблюдалась максимальная за текущее столетие положительная аномалия аккумуляции на леднике Гречишкина. На Козельском леднике ее значения близки к норме, а на леднике

Корыто аккумуляция очень низка. Таким образом, различия в циркуляции атмосферы над северной и южной частями полуострова обуславливают и разницу в режиме ледников между отдельными горно-ледниковыми районами Камчатки.

В табл.2 приведен прогноз циркуляции атмосферы в тихоокеанском секторе северного полушария на 1980-1996 гг. и ожидаемые отклонения составляющих баланса массы камчатских ледников от средних величин. Из таблицы видно, что после 1985 г., начиная с эпохи $3 + M_1$, можно ожидать значительного понижения величин аккумуляции, в то время как температура будет оставаться близкой к норме или ниже нее. В 1980-1985 гг. (эпоха $M_1 + M_2$) будет преобладать положительный баланс массы. Это подтверждается данными измерений на ледниках Южной Камчатки в 1980-1983 балансовых годах: в 1980/81 г. на большинстве ледников отмечен отрицательный баланс массы, а затем он был в основном положительным или близким к нулю. После 1985 г. баланс массы ледников Камчатки ожидается устойчиво отрицательным, близким к норме или ниже нее.

Влияние современного вулканизма на климат выражается прежде всего в понижении прозрачности атмосферы после крупных эксплозий, что приводит к похолоданию летних сезонов. На Камчатке крупные эксплозивные извержения, приводящие к существенному запылению атмосферы в регионе, происходили в 1907 г. - вулкан Ксудач, в 1945 г. - вулканы Мутновский, Авачинский, Ключевской, в 1956 г. - вулкан Безымянный, который почти непрерывно действует и по настоящее время, и в 1964 г. - вулкан Шивелуч. Все они совпадают с холодными летними сезонами. Кроме того, ряд холодных периодов совпадает с крупнейшими извержениями вулканов в других районах земного шара. Например, пониженные летние температуры воздуха на метеостанциях г.Петропавловска-Камчатского в 1912-1915 гг. предварялись гигантским эксплозивным извержением вулкана Катмай на Аляске, а низкая температура на всех станциях Камчатки в 1963 г. - извержением вулкана Агунг в Индонезии. Таким образом, современный эксплозивный вулканизм в регионе может внести ощутимую поправку в прогноз развития оледенения, прежде всего посредством воздействия на абляцию.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Байдал М.Х. Колебания режима ледников в связи с макроциркуляционными эпохами. - МГИ, вып. 10, 1964, с.112-120.
2. Виноградов В.Н., Муравьев Я.Д. Изменчивость современных ледников вулканических районов Камчатки. - МГИ, вып.42, 1982, с.164-170.
3. Виноградов В.Н., Ходаков В.Г. Баланс льда ледника Корыто в Кроноцком массиве. - Гляциол.исслед., 9 25. Итоги гляциол.исслед. на Камчатке. М., 1976, с.18-26.
4. Гирс А.А. Многолетние колебания атмосферной циркуляции и долгосрочные гидрометеорологические прогнозы. Л., ГИМИЗ, 1971, 280 с.
5. Гирс А.А., Кондратович К.В. Методы долгосрочных прогнозов погоды. Л., ГИМИЗ, 1978, 343 с.
6. Дюргеров М.Б., Поповнин В.В. Реконструкция баланса массы, пространственного положения и жидкого стока ледника Джанкуат со второй половины XIX в. - МГИ, вып.40, М., 1981, с.73-82.
7. Ильинский О.К. Синоптические процессы и прогноз погоды в восточных районах СССР. Руководство по краткосрочным прогнозам погоды, ч.III, вып.4. Л., ГИМИЗ, 1965, 212 с.
8. Кондратюк В.И. Климат Камчатки. М., ГИМИЗ, 1974, 202 с.

Таблица 2

Тенденции изменения аккумуляции δ_M , абляции δ_S и баланса массы δ_L на ледниках Камчатки в 1980-1996 гг. по прогнозу циркуляции атмосферы в тихоокеанском секторе северного полушария

Годы	Типы циркуляции атмосферы	Ожидаемые отклонения составляющих баланса массы ледников от нормы		
		δ_M	δ_S	δ_L
1980-1985	$M_1 + M_2$	+	+	+
1986-1987	$3 + M_1$	-	+	=
1988-1989	3	-	=	-
1990-1992	$M_1 + 3$	-	+	=
1993-1996	3	-	=	-

9. Кренке А.Н. Районирование ледников Арктики в связи с циркуляцией атмосферы. - Гляциол.исслед., № 9. М., 1963, с.57-71.
10. Липовка А.Б. Цикличность температуры воздуха на Камчатке и ее связь с солнечной активностью. - Вопросы географии Камчатки, вып. 7. Петропавловск-Камчатский, 1977, с.38-40.
11. Пийп Б.И. Ключевская сопка и ее извержения в 1944-1945 гг. и в прошлом. - М., Изд-во АН СССР, 1956, 308 с.
12. Преображенский В.С., Модель Ю.М. Кроноцкий ледниковый узел. - Тепловой и водный режим снежно-ледниковых толщ. М., 1965, с.5-30.

SUMMARY

Peculiarities of atmospheric circulation above northern and southern areas of Kam-chatka cause differences in glacier regime of mountain-glacier regions. On the basis of circulation types' classification by A.A.Girs, used for analysing long rows of annual sums of precipitation and mean summer temperatures of the air, and also from the reconstructed mass balance of Kozelskiy, Koryto and Grechishkin glaciers, it became possible to reveal the basic tendencies in the development of present-day glaciers of the peninsula up to 1996. In the last decade and the pentad of 1980-1985 the majority of glaciers were nearly stationary, responding by small fluctuations of regime properties to short-time climatic changes. The shift in the values of annual mass balance to negative values and retreat of the majority of glaciers termini is expected after 1985. Present-day explosive volcanism of the region may introduce well-pronounced corrections into these predictions, primarily by controlling ablation regime on glaciers.